Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 3, Fall 2022, p. 577-589

The Effect of Foliar Spray of different Calcium Sources on Antioxidant Properties and Quality of Cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco')

R. Najafi[1], T. Barzegar[2]*

Received: 05-05-2021 Revised: 20-06-2021 Accepted: 14-07-2021 Available Online: 25-11-2022	**How to cite this article:** Najafi, R., & Barzegar, T. (2022). The Effect of Foliar Spray of different Calcium Sources on Antioxidant Properties and Quality of Cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco'). *Journal of Horticultural Science 36*(3): 577-589. (In Persian with English abstract) **DOI**: 10.22067/jhs.2021.70150.1047

Introduction

Cauliflower is one of the world's most important vegetable crops. The edible head of the cauliflower is called curd, which is composed of many florets formed of aborted floral meristems. Curd has various components with high nutritional value including glucosinolates, vitamin A and C, phenolic compounds, and carotenoids, which exert beneficial effects on our health. Calcium is an essential macronutrient that plays a vital role in maintains cell wall stability, integrity and determining the fruit quality. Several researches have explored the effects of calcium salts on plant growth and quality in many horticulture crops. Various studies indicate that Ca^{2+} reduced peroxidation of lipid, increased activity of antioxidant enzyme and improve osmotic adjustment of cell membranes. Plant roots absorb calcium from the soil solution in the form of Ca^{2+} ions. The mobility of calcium in plant is low, and the root uptake from fertilized soils is poorly effective in increasing the calcium content in leaves and fruits. Deficiency of Ca will appear in younger leaves and in fruits, due to its low rate of transpiration. Thence, it is necessary to have a constant supply of calcium to continue growing. The direct application of liquid source of calcium on leaves and fruits may offer an alternative solution. The efficiency of foliar application with Ca depends on the source of Ca and applied dosage. To our knowledge, however, little information is available regarding the effect of different calcium sources on cauliflower. Thus, the aim of this study was to investigate the effect of foliar spray of calcium sources on quality and antioxidant properties of cauliflower cv. Romansco.

Material and Methods

In order to evaluate the effect of different sources of calcium on antioxidant properties and quality of cauliflower cv. Romansco, the field experiment was carried out as a randomized complete block design with three replication during 2018 at Research farm of faculty of Agriculture, at the University of Zanjan, Iran. Cauliflower plants (cv. Romanesco) were cultivated by applying conventional farming practice for growing in open air conditions. Different calcium sources including calcium nitrate ($Ca(NO3)_2$, 0.5, 1 and 1.5 %), calcium chloride ($CaCl_2$, 0.3, 0.6 and 0.9 %) and calcium lactate ($C_6H_{10}CaO_6$, 0.5, 1 and 1.5 g L^{-1}) were sprayed in vegetative stage and 10 days after curd formation for 2 times onto the leaves and curd until runoff using a mechanical mist sprayer. Distilled water was used as a control. Potassium, phosphorus, total soluble content, titratable acidity, ascorbic acid content, total phenols and flavonoids, free radical scavenging activity (DPPH) were measured. Statistical analyses were performed with SPSS software package v. for Windows, and means comparison were separated by Duncan's multiple range tests at $p < 0.05$.

Results and Discussion

The results showed that foliar spray of different Ca sources significantly increased K content and decreased

1 and 2- Graduate M.Sc. Student and Associate Professor, Department Horticultrul Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Respectively.
(*- Corresponding Author Email: tbarzegar@znu.ac.ir)

P content. The highest amount of K (5.6 µg mg^{-1}DW) was achieved in CaCl 0.9% treatment. The highest value of flavonoids (0.86 and 0.85 %) was found in plants treated with CaL 1.5 g L^{-1} and CaCl 0.9%, respectively. In this study, also it was found that foliar spray of CaN 1.5% and CaCl 0.9% increased respectively 49.3 and 40.4% vitamin C content compared to control plants. Ca application with increasing phenolic compound and vitamin C contents, improved antioxidant capacity and the maximum antioxidant capacity (26.19%) was found in CaL 1.5 g L^{-1} and CaN 1.5% treatments. Application of Ca sources increased TA and TSS content. The highest TSS content (12.5 and 13.3 ºB) was achievd in CaCl 0.9% and CaL 1.5 g L^{-1} and the maximum TA (28.8%) was found in plant treated with CaCl 0.9%. In this regard, foliar application of high level of calcium sources was more efficient than of lower levels on cauliflower quality. Therefore, the leaf application of calcium can be effective in improving the quality of vegetables, especially cauliflower.

Conclusion

Study results suggest that spraying different Ca source improved quality and antioxidant properties of cauliflower cv. Romanesco, so that with the application of Ca salts increase K, vitamin C, phenol and flavonoids contents. Among the calcium treatments used, higher levels of all three salts of CaCl, CaN and CaL had the most influence, so these calcium treatments are recommended to improve the quality and antioxidant properties of Romanesco cultivar.

Keywords: Antioxidant activity, Potassium, Total soluble solids, Vitamin C

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۵۸۹-۵۷۷

تأثیر محلول‌پاشی برگی منابع مختلف کلسیم بر کیفیت و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی کلم گل رقم 'رومانسکو' (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco')

رضا نجفی[1]- طاهر برزگر[2]*
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳

چکیده

به‌منظور ارزیابی تاثیر منابع مختلف کلسیم بر خواص آنتی‌اکسیدانی و کیفیت کلم‌گل رقم 'رومانسکو'، آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایشی، محلول‌پاشی برگی منابع مختلف کلسیم شامل کلرید کلسیم (۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد)، لاکتات کلسیم (۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر) و نیترات کلسیم (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) و محلول‌پاشی با آب مقطر به عنوان شاهد بود. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی کلسیم، مقدار پتاسیم را به‌طور معنی‌داری افزایش و فسفر را کاهش داد و بیشترین مقدار پتاسیم (۵/۶ میکروگرم بر گرم ماده خشک) در گیاهان تیمار شده کلرید با کلسیم ۰/۹ درصد حاصل شد. بیشترین میزان فلاونوئید (۰/۸۶ و ۰/۸۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) به ترتیب در گیاهان تیمار شده با لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۰/۹ درصد به دست آمد. محلول‌پاشی برگی نیترات کلسیم ۱/۵ درصد و کلرید کلسیم ۰/۹ درصد، محتوای ویتامین ث را به ترتیب ۴۹/۳ درصد و ۴۰/۴ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دادند. کاربرد کلسیم با افزایش مقدار ویتامین ث، فنل و فلاونوئید کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کلم‌گل را بهبود بخشید. کاربرد ترکیبات کلسیمی محتوای مواد جامد محلول کل و اسید قابل تیتراسیون را افزایش دادند به‌طوری که بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۱۲/۵ درصد بریکس) و اسید قابل تیتراسیون (۲۸/۸۴ درصد) در تیمار کلرید کلسیم ۰/۹ درصد حاصل شد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل، کاربرد نیترات کلسیم ۱/۵ درصد، کلرید کلسیم ۰/۹ درصد و لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر جهت بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی و کیفیت کلم‌گل پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مواد جامد محلول، ویتامین ث

مقدمه

کلم‌ها از سبزی‌های مهم مورد استفاده در سراسر جهان هستند که منبع بسیار خوبی از اسید آسکوربیک، کاروتنوئید، پلی فنل و دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالایی در برابر تنش‌های اکسیداتیو هستند و اهمیت آنها در تقویت سلامتی انسان به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی، فیبر غذایی، ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد (Riad *et al*., 2009). کلم‌گل (*Brassica oleracea* var. botrytis) گیاهی است دوساله که بخش خوراکی آن آغازه‌های گل تمایز نیافته یا گل‌های نارس (کورد)[3] و دمگل‌های گوشتی است که دارای ترکیبات با ارزش غذایی و دارویی بالا شامل ویتامین آ و ث، ریبوفلاوین، تیامین، کربوهیدرات، پروتئین، فیبر، پتاسیم، فسفر و آهن است (Gocher *et al*., 2017).

کلسیم یکی از عناصر غذایی ضروری است که نقش قابل توجهی در رشد و کیفیت سبزی‌ها دارد و به‌عنوان یک کاتیون دوظرفیتی برای فعالیت‌های ساختاری دیواره و غشای سلول، یک کاتیون متقابل برای آنیون‌های آلی و غیر آلی درون واکوئل و یک پیام‌رسان درون سلولی لازم است. این عنصر با اتصال به فسفولیپیدها، لایه‌های چربی را پایدار کرده و در نهایت موجب یکپارچگی ساختار غشاهای سلولی می‌شود (Kader and Lindberg, 2010). دیواره سلولی غنی از کلسیم است و تثبیت کلسیم در دیواره سلولی باعث تقویت سلول‌ها و

---

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
(* - نویسنده مسئول: (Email: tbarzegar@znu.ac.ir
DOI: 10.22067/jhs.2021.70150.1047

3- Curd

مقاومت در برابر بیماری‌ها می‌گردد، این موارد با علائم آشکاری مانند پوسیدگی گلگاه در گوجه‌فرنگی و فلفل مشخص می‌شود (Tabatabaei, 2014). نتایج تحقیقات نشان داده است که کاربرد قبل از برداشت کلسیم یک روش موثر در حفظ کیفیت میوه و سبزی، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، تاخیر پیری و حفظ کیفیت پس از برداشت می‌باشد (Wang and Long, 2015). پایداری دیواره سلولی و غشاهای سلولی ارتباط نزدیکی با میزان سفتی گوشت میوه دارد، وجود باندهای کلسیم به صورت پکتات در تیغه‌های میانی برای استحکام دیواره سلولی و بافت‌های گیاهی ضروری است. تخریب پکتات‌ها به‌وسیله آنزیم پلی‌گالاکترونازها صورت می‌گیرد و زمانی که مقدار کلسیم به حد کافی وجود داشته باشد از تخریب آنها جلوگیری می‌نماید و در نتیجه از ترشح هورمون اتیلن جلوگیری می‌شود (Malakouti and Tabatabaei, 1998). کلسیم با استقرار در دیواره سلولی به عنوان اتصال دهنده بین مولکولی که به ترکیبات تیغه میانی ثبات می‌بخشد، ساختمان دیواره سلولی را حفظ می‌کند. از سویی کلسیم ساختار و وظایف غشای سلولی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با متصل کردن پروتئین‌های دارای نقش آنزیمی و غیر آنزیمی به فسفولیپیدهای غشاء سلولی، از فعالیت آنزیم‌های تولید کننده اتیلن که ساختار پروتئینی داشته و به غشای سلولی متصل هستند، می‌کاهد. در نهایت با تولید کمتر اتیلن که تحریک کننده فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده دیواره سلولی است از تخریب دیواره سلولی ممانعت شده و میوه‌های حاوی کلسیم سفت باقی می‌مانند (Babalar *et al.*, 2009).

یافته‌های یک پژوهش نشان داد که استفاده از منابع مختلف کلسیم بخصوص نیترات کلسیم، محتوای قند کل، ویتامین ث و کارتنوئید را در میوه‌های فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.) افزایش داد (Buczkowska *et al.*, 2016). تیمار قبل و پس از برداشت کلسیم موجب افزایش عملکرد، حفظ کیفیت، کاهش نشت یونی و افزایش سفتی کلم بروکلی شد (Kou *et al.*, 2015). محلول‌پاشی قبل از برداشت لاکتات کلسیم در گیاه فلفل دلمه‌ای، محتوای ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش داد (Barzegar *et al.*, 2018). بررسی کاربرد منابع مختلف کلسیم در گیاه ذرت (*Zea mayz* L.) نشان داد که با افزایش غلظت لاکتات کلسیم، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای آنتوسیانین و فنل کل افزایش یافت (Rimmer, 2006). کاربرد برگی لاکتات کلسیم در گیاه کاهو تحت شرایط آبیاری نرمال و کم آبیاری محتوای فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی و غلظت کلسیم و نیتروژن میوه را افزایش داد ولی تاثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر و پتاسیم نداشت (Khani *et al.*, 2020). کاربرد برگی کلسیم، وزن تر بوته، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و غلظت کلسیم برگ‌های کاهو را افزایش داد و از ظهور عارضه نوک سوختگی برگ ممانعت کرد (Niazi *et al.*, 2021).

از آنجایی که در منابع موجود و نتایج فعالیت‌های تحقیقاتی مربوط گزارشی در زمینه کاربرد منابع مختلف کلسیم بر روی کلم‌گل رقم رومانسکو ارائه نشده است، این پژوهش با هدف مطالعه اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت منابع مختلف کلسیم بر کیفیت و خواص آنتی‌اکسیدانی کلم‌گل رقم رومانسکو انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر منابع مختلف کلسیم بر خاصیت آنتی اکسیدانی و کیفیت کلم‌گل رقم 'رومانسکو' (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco')، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل منابع مختلف کلسیم به‌صورت کلرید کلسیم ($CaCl_2$، ۳۶/۳ درصد کلسیم) در سه سطح ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد، لاکتات کلسیم ($C_6H_{10}CaO_6$، ۱۸/۳ درصد کلسیم) در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر و نیترات کلسیم ($Ca(NO_3)_2$، ۱۹ درصد کلسیم و ۱۵/۵ درصد نیتروژن) در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و محلول‌پاشی با آب مقطر به عنوان شاهد بود. لاکتات کلسیم با فرمول شیمیایی $C_6H_{10}CaO_6$ دارای جرم مولی ۲۱۸/۲۲ گرم بر مول می‌باشد. شکل ظاهری این ترکیب پودر سفید است در دمای ۲۰ درجه‌سانتی‌گراد به میزان ۴/۳ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در آب یا اتانول حل می‌شود و دارای خواص شیمیایی متعددی می‌باشد. در صنایع دارویی به عنوان یک آنتی‌اکسیدان مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین برای رفع کمبود کلسیم استفاده می‌شود (Martin-Diana *et al.*, 2005). برای تهیه محلول در سه سطح از لاکتات کلسیم، نیترات کلسیم و کلرید کلسیم با استفاده از ترازوی چهار صفر وزن شده، بعد در آب مقطر حل و در ظروفی که از قبل اتیکت زده و مشخص شده بود ریخته و با آب مقطر به حجم رسانده شد. نشاهای کلم‌گل رقم'رومانسکو' در تاریخ ۲۵ مرداد در مرحله چهار- پنج برگی به زمین اصلی انتقال داده شدند. منابع مختلف کلسیم در دو مرحله رویشی قبل از ظهور گل‌آذین و ۱۰ روز پس از ظهور گل‌آذین بصورت جداگانه با استفاده از محلول‌پاش دستی (مدل S12) بر روی گیاهان محلول‌پاشی شدند. جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه را نشان می‌دهد. نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای- نواری) و دور آبیاری سه روز یکبار بود. کوددهی در دو نوبت در مرحله شش برگی و ۳۰ روز پس از مرحله اول، با کود کامل NPK (۲۰:۲۰:۲۰) با غلظت یک گرم بر لیتر با آب آبیاری انجام گرفت. محصول در تاریخ ۱۹ آذرماه برداشت شد و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و کیفی کورد ارزیابی شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil used in the experiment

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن N (٪)	کلسیم Ca ($g.kg^{-1}$)	سدیم Na ($g.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($g.kg^{-1}$)	مواد آلی Organic matter (٪)	بافت خاک Soil Texture
7.4	1.49	0.07	0.12	0.13	0.20	0.94	رسی لومی Loamy clay

صفات مورد ارزیابی

اندازه‌گیری غلظت عنصر فسفر به روش رنگ سنجی وانادات–مولیبدات انجام پذیرفت. برای این منظور ۰/۵گرم ماده پودر شده گیاهی توسط بلندر را پس از توزین، در داخل بوته‌های چینی ریخته و این بوته‌ها به مدت ۶ ساعت در داخل کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و خاکستر آنها کاملاً به رنگ سفید در آمد، سپس بوته های حاوی خاکستر با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شده و به هر بوته ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک مولار اضافه شد (Cottenie, 1980). برای اندازه‌گیری پتاسیم از روش فلیم فتومتری استفاده شد (Cottenie, 1980).

میزان فنل کل کورد با استفاده از معرف فولین سیوکالتو (Folin-Ciocalteaus) اندازه‌گیری گردید. برای این منظور ۰/۱ میلی‌لیتر از نمونه‌های رقیق‌شده عصاره کلم رقم 'رومانسکو' همراه دو میلی‌لیتر کربنات سدیم (وزنی/حجمی ۲ درصد) در لوله آزمایش ریخته شد و به مدت دو دقیقه در دمای اتاق نگه داشته شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از واکنش فولین سیوکالتو (۵۰ درصد) به آن اضافه شد. مخلوط واکنش به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی نگه‌داری شد و سپس میزان جذب آن در طول‌موج ۷۲۰ نانومتر خوانده شد. برای به دست آوردن منحنی کالیبراسیون از اسید گالیک به‌عنوان استاندارد استفاده شد به‌طوری‌که غلظت‌های مختلف آن به‌جای نمونه‌ها ریخته و میزان جذب آن‌ها در طول‌موج ۷۲۰ نانومتر خوانده شد و منحنی بر اساس میزان جذب در غلظت‌های مشخص رسم گردید (Singleton and Rossi, 1965).

برای اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل، بر روی ۲۵۰ میکرولیتر از نمونه‌ها، ۷۵ میکرولیتر $NaNO_2$ (وزنی/حجمی ۵ درصد) و ۱۵۰ میکرولیتر $AlCl_3$ (وزنی/حجمی ۱۰ درصد) و ۵۰ میکرولیتر NaOH یک مولار اضافه شد و با اضافه کردن آب مقطر حجم نهایی به ۲/۵ میلی‌لیتر رسید. پس از ۵ دقیقه، جذب محلول در طول‌موج ۵۰۷ نانومتر قرائت گردید. برای رسم منحنی استاندارد از کوئرستین (۱۵۰–۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) استفاده شد. میزان فلاونوئید کل براساس میلی گرم معادل کوئرستین بر گرم وزن تر گیاه گزارش شد (Kadir, 2005).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کلم از روش DPPH استفاده شد. ابتدا محلول ۰/۱ میلی‌مولار از DPPH تهیه شد، به این ترتیب که ۳۹/۳۴ میلی‌گرم DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول حل شد. سپس ۵۰ میکرولیتر از عصاره کلم فریز شده در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به ۱۹۵۰میکرولیتر محلول DPPH اضافه شد به طوری که حجم نهایی دو میلی‌لیتر شد. بعد از ۱۰ دقیقه جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد و بر حسب درصد با استفاده از رابط زیر محاسبه شد (Dehghan and Khoshkam, 2012).

$$RSA\%=10\ (Ac-As)/Ac$$

Ac: جذب نمونه حاوی عصاره As: جذب کنترل Radical scavenging activity :RSA

محتوای ویتامین ث یا آسکوربیک اسید موجود در کورد با استفاده از روش یدومتریک و بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر با استفاده از رابط زیر محاسبه شد (Jalili Marandi, 2004). در این رابطه A=مقدار ویتامین ث، S= مقدار محلول ید مصرف شده N= نرمالیته ید (۰/۰۱ نرمال) F= فاکتور محلول، ۸۸/۱= ضریب ثابت ویتامین ث می‌باشد.

$$A= S\times N\times F\times 88.1\times 100/10$$

اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول کل با استفاده از دستگاه رفراکتومتر مدل ARBO-45 بر حسب درصد بریکس اندازه‌گیری شد (Jalili Marandi, 2004).

برای اندازه‌گیری اسید قابل تیتراسیون، داخل ظرفی ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره کورد و حدود ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید. سپس۳–۲ قطره معرف فنل فتالئین درون ظرف ریخته شد و محلول فوق با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تیتر شد.

حجم سود مصرفی در تیتراسیون × نرمالیته هیدروکسید سدیم × وزن اکی‌والان اسید = درصد اسید قابل تیتراسیون

۱۰۰ × (۱۰ × نمونه وزن)

داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ آنالیز و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اندازه‌گیری میزان پتاسیم و فسفر

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمار منابع مختلف

کلسیم تاثیر معنی‌داری بر محتوای پتاسیم و فسفر کلم‌گل رقم رومانسکو داشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که محلول‌پاشی برگی کلسیم، مقدار فسفر را نسبت به عدم کاربرد منابع کلسیم کاهش داد و بیشترین مقدار فسفر (۰/۳۲ میکرو گرم بر گرم ماده خشک) در گیاهان کلم شاهد و محلول‌پاشی شده با نیترات کلسیم ۰/۵ درصد مشاهده شد، همچنین بیشترین مقدار پتاسیم (۵/۶۷ میکرو گرم بر گرم ماده‌ی خشک) با محلول پاشی ۰/۹ درصد کلرید کلسیم حاصل شد. به‌طور کلی تیمارهای کلسیم در سطوح بالا، محتوای پتاسیم را به‌طور معنی‌داری نسبت به سطوح کمتر کاربرد کلسیم افزایش دادند (شکل ۱).

پتاسیم اثرات مطلوب بر متابولیسم اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد رشدی دارد، جذب پتاسیم در گیاهان انتخابی و با مصرف انرژی همراه است و پویایی این عنصر در سلول‌ها، بافت‌ها و آوندهای چوبی و آبکش گیاه زیاد است (Singh and Joshi, 2005). پتاسیم در فتوسنتز به‌عنوان تعدیل کننده pH محیط در فتوسیستم دو نقش مهمی در تجزیه آب دارد، انتقال بعضی از مواد وابسته به وجود پتاسیم می‌باشد و در آوند آبکشی این عنصر به‌راحتی منتقل می‌شود (Tabatabaei, 2014). نتایج این پژوهش با نتایج متشرع‌زاده و همکاران (Motesharezadeh *et al*., 2018) در گیاه گوجه فرنگی تطابق دارد که گزارش کردند بیشترین جذب پتاسیم در تیمار سطوح بالای نیترات کلسیم مشاهده شد. یافته‌های یک پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی کودهای کلسیم بخصوص کلرید کلسیم، غلظت پتاسیم میوه بلوبری را افزایش دادند (Ochmian, 2012).

فسفر برای تعدادی از اعمال فیزیولوژیکی گیاه ضروری است و نقش عمده‌ای در بسیاری از فرآیندهای کلیدی از جمله فتوسنتز، تنفس، ذخیره انرژی و انتقال، تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول ایفاء می‌کند، فسفر برای تحریک تشکیل ریشه اولیه و رشد مورد نیاز است، فسفر همچنین باعث بهبود کیفیت محصول و تشکیل دانه می‌شود (Mullins, 2009). نتایج این پژوهش با نتایج متشرع‌زاده و همکاران (Motesharezadeh *et al*., 2018) در گیاه گوجه فرنگی تطابق دارد که گزارش کردند بیشترین جذب فسفر در تیمار شاهد (بدون کاربرد نیترات کلسیم) حاصل شد و کمترین جذب مربوط به تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیترات کلسیم بود که علت کاهش جذب فسفر را به دلیل بار منفی بیشتر در سطح ریشه ناشی از کاربرد نیترات بیان کردند.

فلاونوئید و فنل کل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمار منابع مختلف کلسیم تاثیر معنی‌داری بر محتوای فلاونوئید کل کلم‌گل رقم رومانسکو داشت ولی اثر منابع مختلف کلسیم بر فنل کل عدم معنی داری را نشان داد (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار محتوای فلاونوئید کل (۰/۸۶ و ۰/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به ترتیب در گیاهان کلم محلول‌پاشی شده با لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۰/۹ درصد به‌دست آمد (شکل ۲). نتایج این پژوهش با نتایج برزگر و همکاران (Barzegar *et al*., 2018) در گیاه فلفل مطابقت دارد. که گزارش کردند کاربرد لاکتات کلسیم محتوای فلاونوئید فلفل را افزایش داد. همچنین مطابق با نتایج ما، کاربرد برگی کلسیم تاثیر معنی‌داری بر مقدار ترکیبات فنلی کورد کلم بروکلی نداشت (El-Mogy *et al*., 2019).

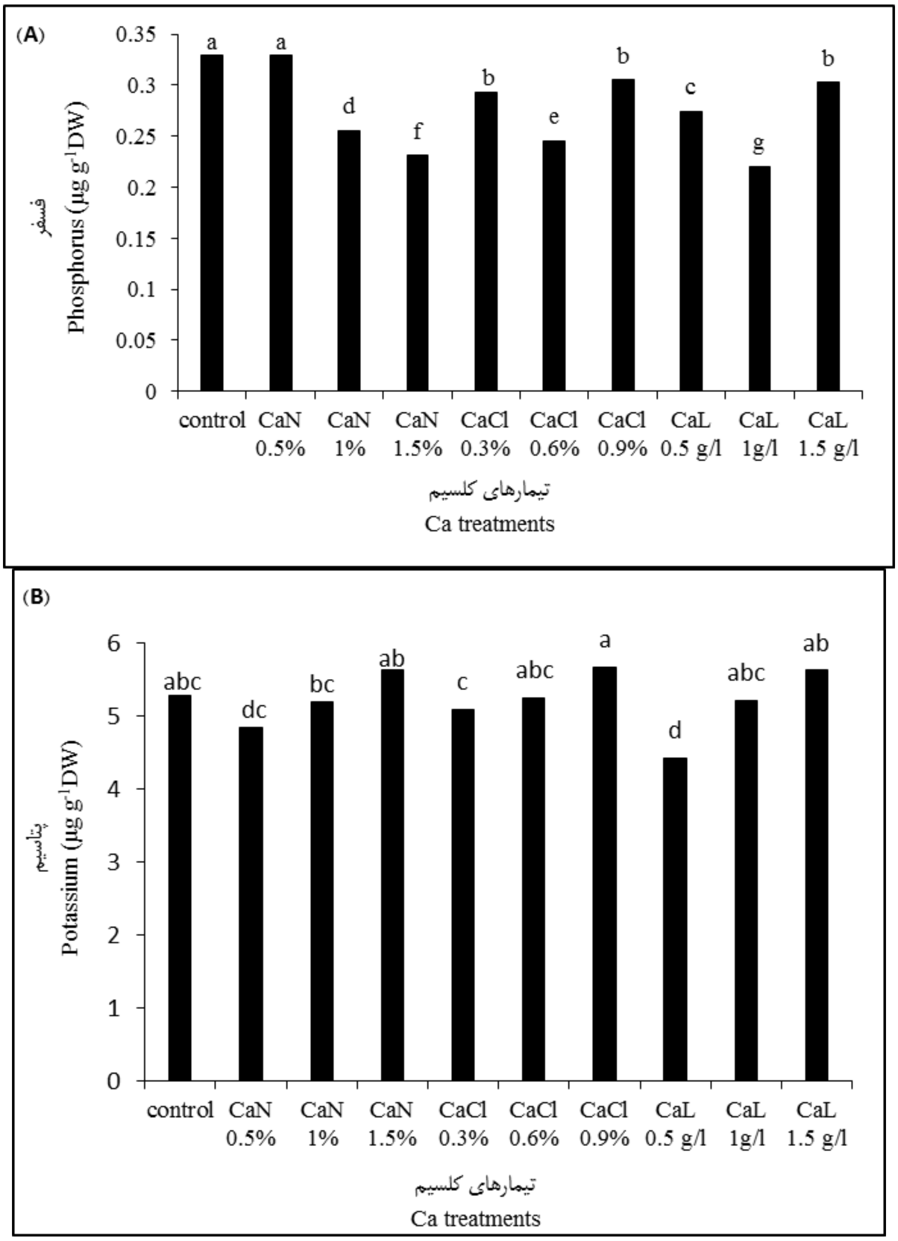
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر منابع مختلف کلسیم بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی و کیفیت کلم‌گل رقم ’رومانسکو‘

Table 2- ANOVA for of the effect of different sources of calcium on antioxidant properties and quality of cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis ‘Romanesco’)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	فنل Phenol	فلاونوئید Flavonoids	آنتی اکسیدان Antioxidants	ویتامین ث Vitamin C	مواد جامد محلول TSS	اسید قابل تیتراسیون Titratable acidity
تکرار Replication	2	0.04^{ns}	0.000003^{ns}	0.18^{ns}	0.0003^{ns}	3.13^{*}	2.19^{ns}	0.63^{ns}	11.66^{ns}
تیمار Treatment	9	0.44^{**}	0.004^{**}	5.27^{ns}	0.022^{**}	15.82^{**}	7.75^{**}	2.35^{**}	13.09^{*}
خطا Error	18	0.07	0.00001	2.25	0.0005	0.59	0.99	0.57	4.06
ضریب تغییرات C.V (%)		5.11	1.48	15.93	3.27	0.37	10.84	6.74	8.14

ns، * و ** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns,* and **: Non-significant, and Significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

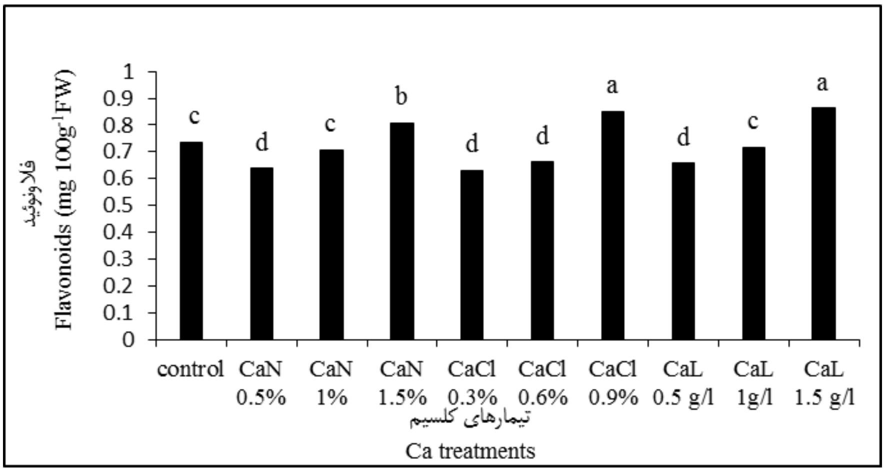


شکل ۱- اثر محلول پاشی برگی کلسیم (CaN : نیترات کلسیم، CaCl : کلرید کلسیم و CaL : لاکتات کلسیم) بر محتوای فسفر (A) و پتاسیم (B) کلم‌گل رقم 'رومانسکو'

Figure 1- The effect of foliar spray of calcium (CaN: calcium nitrate, CaCl: calcium chloride, CaL: calcium lactate) on Phosphorus (A) and Potassium (B) contents of cauliflower cv. 'Romanesco'. (DMRT, $p \leq 0.05$)

ترکیبات فنولی شامل گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه در گیاه هستند که خواص آنتی‌اکسیدانی از خود نشان می‌دهند این ترکیبات به عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل کرده و سبب تحمل گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌شوند (Rimmer, 2006). بیوسنتز ترکیبات فنولی از اسید آمینه‌های آروماتیک به نام فنیل آلانین شروع می‌شود و اولین مرحله دآمینه شدن فنیل‌آلانین توسط آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و تبدیل آن به ترانس سینامیک اسید انجام می‌گیرد (Dutilleul *et al.*, 2003). کلسیم از طریق تاثیر بر آنزیم‌های موثر در سنتز و اکسیداسیون فنل‌ها نظیر فنیل‌آلانین آمونیالیاز، پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز در چرخه متابولیسم اسیدهای فنولیک نقش ایفا می‌کند (Castaneda and Perez, 1996). محلول‌پاشی برگ‌های کیوی فروت با کلرید کلسیم موجب افزایش فنل و آنتی‌اکسیدان کل میوه گردید (Koutinas *et al.*, 2010). محلول‌پاشی برگی لاکتات کلسیم، به طور معنی‌داری محتوای فنل و فلاونوئید کل را در کاهو

افزایش داد (Khani *et al*., 2020). تیمار بوته‌های توت‌فرنگی با لاکتات کلسیم، محتوای فنل و فلانوئید میوه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Hosseini *et al*., 2019). مطابق نتایج پژوهش حاضر، محلول‌پاشی برگی کودهای کلسیمی در بوته‌های بلوبری، تاثیر منفی بر مقدار ترکیبات فنلی میوه داشت (Ochmian, 2012).



شکل ۲- اثر محلول پاشی برگی کلسیم (CaN : نیترات کلسیم، CaCl : کلرید کلسیم، CaL : لاکتات کلسیم) بر محتوای فلانوئید کلم‌گل رقم 'رومانسکو'

Figure 2- The effect of foliar spray of calcium (CaN: calcium nitrate, CaCl: calcium chloride, CaL: calcium lactate) on total flavonoids content of cauliflower cv. 'Romanesco'. (DMRT, $p \leq 0.05$)

ویتامین ث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمار منابع مختلف کلسیم تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) بر میزان ویتامین ث داشت (جدول ۲). همانطور که نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد با افزایش سطوح کلسیم در هر سه منبع کودی، مقدار ویتامین ث نیز افزایش یافت (شکل ۳)، بیشترین مقدار ویتامین ث (۱۲ و ۱۱/۳۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) در گیاهان کلم‌گل محلول‌پاشی شده با ۱/۵ درصد نیترات کلسیم و ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیم حاصل شد (شکل ۳).

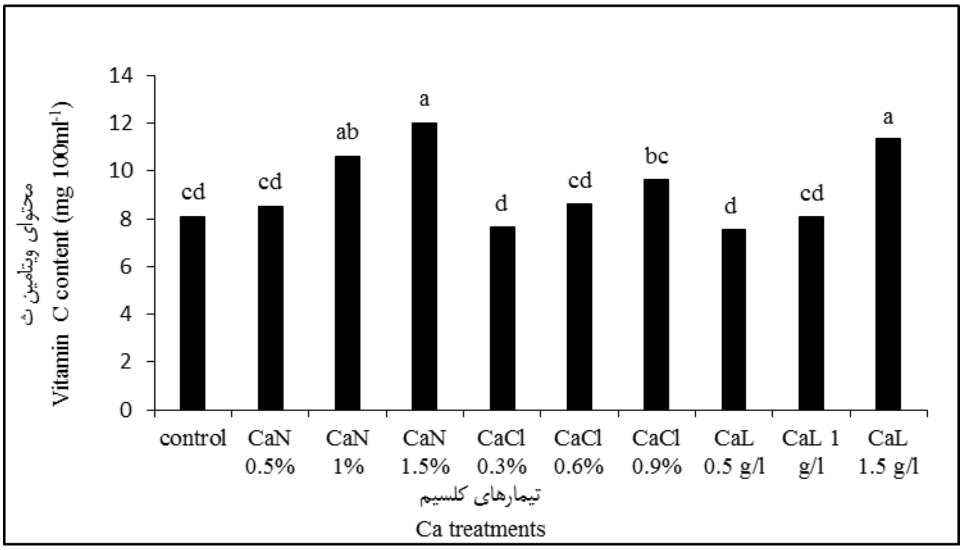
افزایش مقدار ویتامین ث در اثر کاربرد کلسیم را می‌توان به نقش بازدارندگی کلسیم بر فعالیت آنزیم‌های اکسید کننده آسکوربیک اسید مانند آسکوربیک اسید اکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز که آسکوربات را به‌عنوان سوبسترا مصرف می‌کنند، و همچنین به نقش کلسیم در کاهش تنفس و تولید اتیلن و جلوگیری از تجزیه دیواره سلولی و در نتیجه کاهش تولید رادیکال‌های آزاد نسبت داد (Garcia *et al*., 1996; Singh and Joshi, 2005). آسکوربیک اسید بعنوان یک آنتی‌اکسیدان و ترکیب آلی، یک ویتامین ضروری است که می‌تواند از میوه‌ها و سبزی‌ها به‌دست آید (Liu *et al*., 2014). تیمار برگی کلسیم محتوای ویتامین ث را افزایش داد، این نتایج با نتایج برزگر و همکاران (Barzegar *et al*., 2018) و میکالوج و دزیدا (Michalojc and Dzida, 2012) در فلفل مطابقت دارد. گزارش شد که تیمار کلسیم بر روی قارچ تکمه‌ای تاثیر معنی‌داری بر میزان اسید آسکوربیک داشت و محتوای اسید آسکوربیک قارچ تکمه‌ای تیمار شده با کلسیم افزایش یافت (Sayyari and Alvandi, 2017).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

کاربرد منابع مختلف کلسیم تاثیر معنی‌داری بر ظرفیت آنتی اکسیدانی کلم داشتند. در گیاهان شاهد میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ۲۱/۷ درصد بود و بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان کلم تیمار شده با لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر و نیترات کلسیم ۱/۵ درصد به ترتیب با ۲۶/۱ و ۲۵/۸ درصد حاصل شد (شکل ۴).

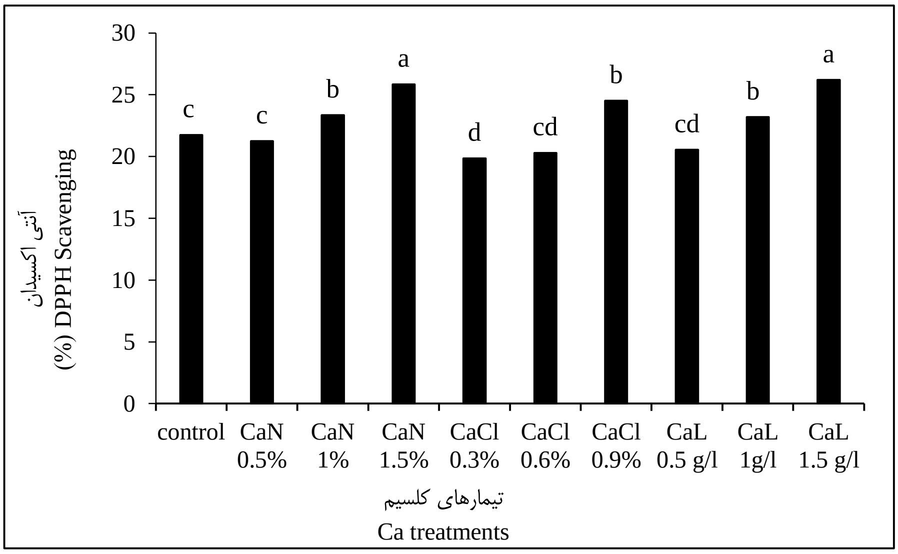
فعالیت آنتی‌اکسیدانی همبستگی بالایی با ترکیبات فنولیک مانند فنل و فلاونوئید و ویتامین ث و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دارد. افزایش محتوای ویتامین ث و فنل و فلاونوئید کل به‌عنوان ترکیبات آنتی اکسیدانی با کاربرد برگی کلسیم مشاهده شد، بنابراین افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را می‌توان به تجمع این ترکیبات با خواص آنتی-اکسیدانی نسبت داد. نتایج این پژوهش با نتایج برزگر و همکاران (Barzegar *et al*., 2018) در فلفل دلمه‌ای تطابق دارد که گزارش کردند کاربرد برگی لاکتات کلسیم در غلظت ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر با افزایش تولید ترکیبات با خاصیت آنتی‌اکسیدانی شامل فنل، فلاونوئید، اسید آسکوربیک و کارتنوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های فلفل دلمه‌ای را افزایش داد. همچنین ممکن است اثر افزایشی به دلیل نقش بازدارندگی آن بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز باشد

(Barbagallo *et al*., 2012). مطالعات دیگر نیز همبستگی مثبت معنی‌دار بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای ترکیبات فنولیک و ویتامین ث را در فلفل نشان داد (Farhoudi *et al*., 2017). همچنین نتایج خانی و همکاران (Khani *et al*., 2020) در گیاه کاهو با نتایج این پژوهش همخوانی دارد که گزارش کردند کلسیم با افزایش محتوای فنل و فلاونوئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاهو را تحت شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری بهبود بخشید. همچنین کاربرد پس از برداشت تیمار کلسیم در حفظ آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی از قبیل فنل، فلانوئید، آنتوسیانین و آسکوربیک اسید موثر بوده است (Aghdam *et al*., 2013).



شکل ۳- اثر محلول‌پاشی برگی کلسیم (CaN : نیترات کلسیم، CaCl : کلرید کلسیم، CaL : لاکتات کلسیم) بر محتوای ویتامین ث کلم‌گل رقم 'رومانسکو'

Figure 3- The effect of foliar spray of calcium (CaN: calcium nitrate, CaCl: calcium chloride, CaL: calcium lactate) on vitamin C content of cauliflower cv. 'Romanesco'. (DMRT, $p \leq 0.05$)

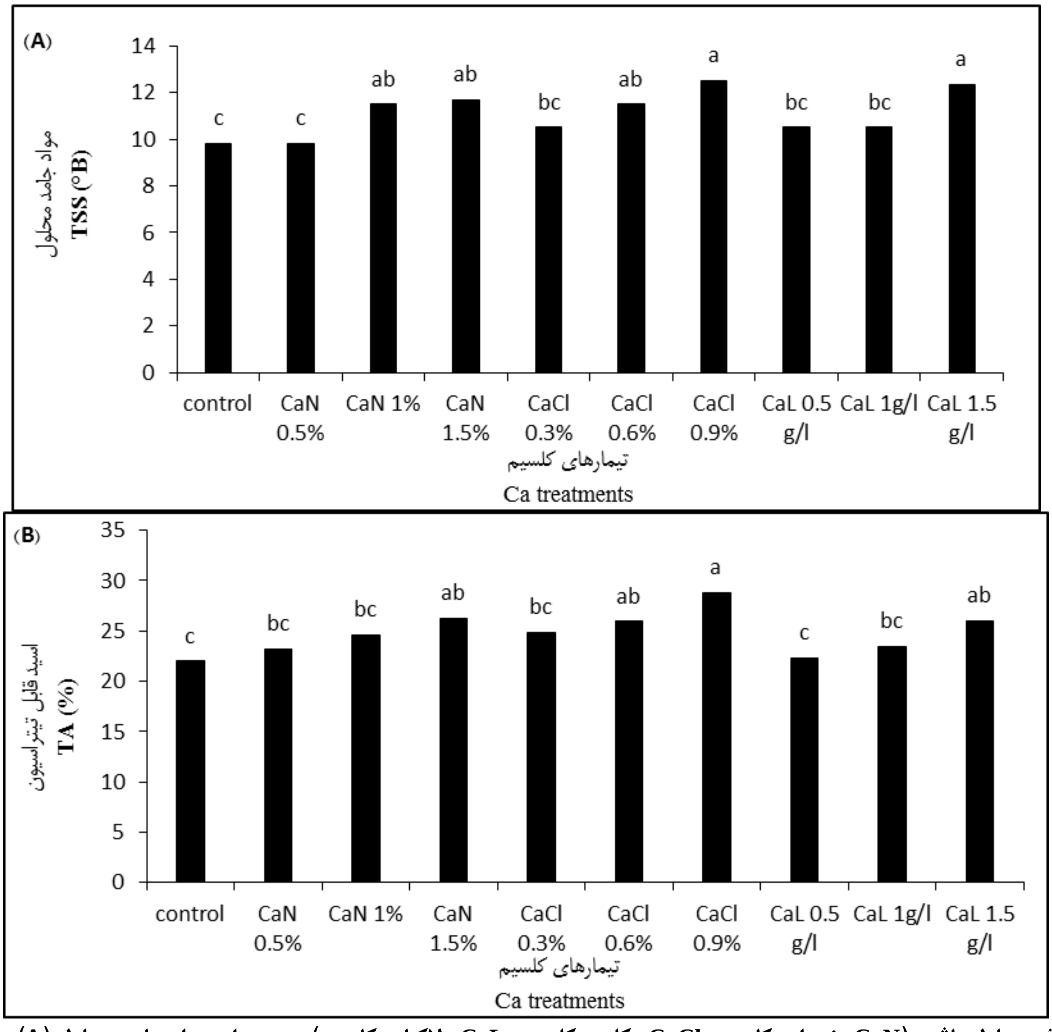


شکل ٤- اثر محلول پاشی(CaN : نیترات کلسیم، CaCl : کلرید کلسیم، CaL : لاکتات کلسیم) بر محتوای آنتی‌اکسیدانی کلم‌گل رقم 'رومانسکو'

Figure 4- The effect of foliar spray of calcium (CaN: calcium nitrate, CaCl: calcium chloride, CaL: calcium lactate) on DPPH scavenging of cauliflower cv. 'Romanesco'. (DMRT, $p \leq 0.05$)

مواد جامد محلول کل و اسید قابل تیتراسیون

با توجه به نتایج، محلول‌پاشی برگی کلسیم، محتوای مـواد جامـد محلول و اسید قابل تیتراسیون را به طور معنـی‌داری افـزایش داد. بـا افزایش غلظت کلسیم در هر سه منبع کودی، مقدار مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسـیون افـزایش نشـان داد بـه‌طـوری کـه بیشـترین محتـوای مـواد جامـد محلـول (۱۲/۵ و ۱۲/۳ درصـد بـریکس) در تیمارهای ۰/۹ درصد کلرید کلسیم و ۱/۵ گرم در لیتر لاکتات کلسیـم حاصل شد و حداکثر اسید قابل تیتراسیون (۲۸/۸ درصـد) در گیاهـان کلم محلول‌پاشی شده با کلرید کلسیم ۰/۹ درصد به‌دست آمد (شـکل ۵). نتایج این پژوهش با نتایج برزگر و همکـاران (Barzegar *et al.*, 2018) در گیاه فلفل مطابقت دارد که بیان کردند محلول‌پاشی برگـی لاکتات کلسیم در فلفل دلمه‌ای، محتوای مواد جامـد محلـول و اسـید کل را افزایش داد.



شکل ۵- اثر محلول پاشی (CaN : نیترات کلسیم، CaCl : کلرید کلسیم، CaL : لاکتات کلسیم) بر محتوای مواد جامد محلول (A) و اسید قابل تیتراسیون (B) کلم‌گل رقم 'رومانسکو'

Figure 5- The effect of foliar spray of calcium (CaN: calcium nitrate, CaCl: calcium chloride, CaL: calcium lactate) on total soluble solids content (A) and titratable acidity (B) of cauliflower cv. 'Romanesco'. (DMRT, $p \leq 0.05$)

محتوای مواد جامد محلول کل، اسید قابل تیتراسیون و قندها بـه عنوان ویژگی‌های مهم میوه‌ها و سبزی‌ها شناخته شده است (Fallik and Ilic, 2018). کاربرد خاکی نیتـرات کلسـیم، مقـدار مـواد جامـد محلول و اسید کل را در گوجه‌فرنگی کاهش داد و بیشترین مقـدار در گیاهان شاهد مشاهد شد که کاهش مواد جامد محلول و اسید کـل را بـه دلیـل مصـرف زیـاد نیتـرات همـراه کلسـیم گـزارش کردنـد

(Motesharezadeh *et al*., 2018). گزارش شد که کاربرد کلسیم و بور در گلابی، میزان مواد جامد محلول و درصد اسید قابل تیتراسیون میوه را افزایش داد، به نظر می‌رسد کـه افـزایش میـزان فتوسـنتز در نتیجه کاربرد عناصر غذایی باعث تجمع مـواد کربوهیدراتـه بیشـتر در میـوه شـده اسـت (Malakouti and Tehrani, 2000). همچنـین عزیزی و همکاران (Azizi *et al*., 2019) گزارش دادند کاربرد قبـل از برداشت کلسیم در گلابی، محتوای مواد جامد و اسید کـل میـوه را افزایش داد و افزایش مواد جامد محلول و اسید کل را در اثـر مصـرف کلسیم به کاهش تنفس و کـاهش مصـرف قنـدها و اسـیدها در طـی تنفس نسبت دادند. در رابطه با اثـر ترکیبـات کلسـیم بـر مـواد جامـد محلول و اسید کل نتایج متضادی نیز گزارش شده است. در میوه‌های گوجه‌فرنگی تیمار شده با کلسیم مقدار مواد جامد محلول و اسید کـل کمتری نسبت به شاهد حاصل شد (Fanasca *et al*., 2006).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصـل از آزمـایش، مـی‌تـوان بیـان نمـود کـه محلول‌پاشی منابع مختلف کلسیم تاثیر معنی‌داری بر کیفیت و خواص آنتی‌اکسیدانی کلم‌گل رقم رومانسکو داشت به‌طوریکه با کاربرد نمک-های کلسیم، غلظت پتاسیم، محتوای ویتـامین ث، فنـل و فلاونوئیـد کل، مواد جامد محلول و اسید کل کلم گل افزایش یافت. کلسیم تاثیر منفی بر محتوای فسفر کلم داشت. باکاربرد نیترات کلسیم ۱/۵ درصد و لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر بیشترین مقدار ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی حاصل شد. از بـین تیمارهـای کلسـیم مـورد اسـتفاده، سطوح بالاتر هر سه نمک کلرید کلسـیم، نیتـرات کلسـیم و لاکتـات کلسیم،ز بیشترین تاثیر را داشتند، بنـابراین ایـن تیمارهـای کلسـیمی برای بهبود کیفیت و خواص آنتی‌اکسیدانی کلـم‌گـل رقـم رومانسـکو پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1- Aghdam, M.S., Dokhanieh, A.Y., Hassanpour, H., & Fard, J.R. (2013). Enhancement of antioxidant capacity of cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit by postharvest calcium treatment. *Scientia Horticulturae* 161: 160-164. . https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.006

2- Azizi, F., Razavi, F., Rabie, W., & Hassani, A. (2019). Effects of pre-harvest calcium compounds foliar application on quality and antioxidant properties of pear cv "Dargazi". *Horticultural Plant Nutrition* 1: 129-144. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22070/hpn.2019.4640.1039.

3- Babalar, M., Dowlati Baneh, A., & Sherafatian, D. (2009). Effect of $CaCl_2$ in postharvest on storage quality of two varieties of grape, Iran. *Seed and Plant Improvement Journal 7*(1): 128-141.

4- Barbagallo, R.N., Chisari, M., & Caputa, G. (2012). Effects of calcium citrate and ascorbate as inhibitors of browning and softening in minimally processed 'Birgah'eggplants. *Postharvest Biology and Technology* 73: 107-114. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.06.006.

5- Barzegar, T., Fateh, M., & Razavi, F. (2018). Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. *Scientia Horticulturae* 241: 293-303. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.011.

6- Buczkowska, H., Michalojc, Z., & Nurzynska-Wierdak, R. (2016). Yield and fruit quality of sweet pepper depending on foliar application of calcium. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry 40*(2): 222-228. https://doi.org/10.3906/tar-1501-56.

7- Castaneda, P., & Pérez L.M. (1996). Calcium ions promote the response of citrus Limon against fungal elicitors or wounding. *Phytochemistry 42*(3): 595-598. https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)00981-7.

8- Cottenie, A. (1980). Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations (No. 38/2).

9- Dehghan, G., & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)– quercetin complex: Synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. *Food Chemistry 131*(2): 422-426. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.074.

10- Dutilleul, C., Garmier, M., Noctor, G., Mathieu, C., Chétrit, P., Foyer, C.H., & de Paepe, R. (2003). Leaf mitochondria modulate whole cell redox homeostasis, set antioxidant capacity, and determine stress resistance through altered signaling and diurnal regulation. *The Plant Cell 15*(5): 1212-1226. https://doi.org/10.1105/tpc.009464.

11- El-Mogy, M.M., Mahmoud, A.W.M., El-Sawy, M.B.I., & Parmar, A. (2019). Pre-harvest foliar application of mineral nutrients to retard chlorophyll degradation and preserve bio-active compounds in broccoli. *Agronomy 9*(11): 1-15. https://doi.org/10.3390/agronomy9110711.

12- Fallik, E., & Ilic, Z. (2018). *Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality*. p. 139-168. In: Siddiqui M.W. (eds) Pre-and postharvest treatments affecting flavor quality of fruits and vegetables. AAP-CRC Press, USA.

13- Fanasca, S., Colla, G., Maiani, G., Venneria, E., Rouphael, Y., Azzini, E., & Saccardo, F. (2006). Changes in

antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry 54*(12): 4319-4325. https://doi.org/10.1021/jf0602572.

14- Farhoudi, R., Mehrnia, M.A., & Lee, D.J. (2017). Antioxidant activities and bioactive compounds of five Jalopeno pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *Natural Product Research* 6: 1-4. https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1410801.

15- Garcia, J.M., Herrera, S., & Morilla, A. (1996). Effects of postharvest dips in calcium chloride on strawberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry 44*(1): 30-33. https://doi.org/10.1021/jf950334l.

16- Gocher, P., Soni, A.K., Mahawar, A.K., Singh, S.P., & Koodi, S. (2017). Response of NPK and sulphur on nutrient analysis and quality attributes of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6*(7): 4364-4371. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.454.

17- Hosseini, F., Amiri, M.E., & Razavi, F. (2019). Improvement of anthocyanin and antioxidant properties of strawberry (cv. Amaros) by calcium lactate and potassium sorbate application. *Journal of Plant Production 42*(4): 455-468. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22055/ppd.2019.25261.1580.

18- Jalili Marandi, R. (2004). *Postharvest physiology (Handling and storage of fruits and vegetables and ornamental plants)*. Jahad-e-Daneshgahi of Urmia University publication. 276p.

19- Kader, M.A., & Lindberg, S. (2010). Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. *Plant Signaling and Behavior 5*(3): 233-238. https://doi.org/10.4161/psb.5.3.10740.

20- Kadir, S.A. (2005). Fruit quality at harvest of “Jonathan” apple treated with foliarly-applied calcium chloride. *Journal of Plant Nutrition 27*(11): 1991-2006. https://doi.org/10.1081/PLN-200030102.

21- Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2020). Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attribute of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science 34*(1): 11-24. https://doi.org/10.13128/ahsc-8252.

22- Kou, L., Yang, T., Liu, X., & Lou, Y. (2015). Effects of pre- and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. *Horticultural Science 50*(12): 1801–1808. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.12.1801.

23- Koutinas, N., Sotiropoulos, T., Petridis, A., Almaliotis, D., Deligeorgis, E., Therios, I., & Voulgarakis, N. (2010). Effects of preharvest calcium foliar sprays on several fruit quality attributes and nutritional status of the kiwifruit cultivar Tsechelidis. *HortScience 45*(6): 984-987.https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.6.984.

24- Liu, K., Yuan, C., Chen, Y., Li, H., & Liu, J. (2014). Combined effects of ascorbic acid and chitosan on the quality maintenance and shelf life of plums. *Scientia Horticulturae* 176: 45-53. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.027.

25- Malakouti, M.J., & Tabatabaei, S.J. (1998). The effects of calcium chloride on firmness and qualitative properties of Lebanese Red Delicious apples. *Journal of Soil and Water Research Institute* 1: 12-63. (In Persian with English abstract)

26- Malakouti, M., & Tehrani, V.M. (2000). *The role of micronutrients on increasing yield and quality improvement of agricultural crops in the minor crops with the major impacts*. Second Edition, Tarbiat Modares University (TMU) Press, 292 pages.

27- Martin-Diana, A.B., Rico, D., Barry-Ryan, C., Frias, J.M., Mulcahy, J., & Henehan, G.T. (2005). Calcium lactate washing treatments for salad-cut Iceberg lettuce: Effect of temperature and concentration on quality retention parameters. *Food Research International 38*(7): 729-740. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.005.

28- Michalojc, Z., & Dzida, K. (2012). Yielding and biological value of sweet pepper fruits depending on foliar feeding using calcium. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 11*(3): 255-264. https://doi.org/10.3906/tar-1501-56.

29- Motesharezadeh, B., Zarbizadeh, M., Savaghebi, G., Delshad, M., Hosseini, S.M., & Bekhradi, F. (2018). Effects of different levels of calcium nitrate on some morpho-physiological and nutritional traits of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Iranian Journal of Horticultural Science 48*(3): 535-544. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.33530.379.

30- Mullins, G. (2009). *Phosphorus, agriculture and the environment*.Virginia Polytechnic Institute and State University 1-12.

31- Niazi, H., Barzegar, B., Ghahremani, Z., & Nadirkhanlou, L. (2021). Effect of light duration and calcium on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* cv. New Red Fire). *Journal of Vegetables Sciences 4*(2): (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/iuvs.2021.521006.1135.

32- Ochmian, I. (2012). The impact of foliar application of calcium fertilizers on the quality of highbush blueberry fruits belonging to the ‘Duke’ cultivar. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici 40*(2): 163-169. https://doi.org/10.15835/nbha4028058.

33- Riad, G., Ghoname, A., Ahmed, A., El-Baky, M.A., & Hegazi, A. (2009). Cabbage nutritional quality as influenced by planting density and nitrogen fertilization. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology 3*(1): 68-74.

34- Rimmer, D.L. (2006). Free radicals, antioxidants, and soil organic matter recalcitrance. *European Journal of Soil Science 57*(2): 91-94. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.00735.x.

35- Sánchez-Madrigal, M.Á., Neder-Suárez, D., Quintero-Ramos, A., Ruiz-Gutiérrez, M.G., Meléndez-Pizarro, C.O., Piñón-Castillo, H.A., & Ramírez-Wong, B. (2015). Physicochemical properties of frozen tortillas from nixtamalized maize flours enriched with β-glucans. *Food Science and Technology 35*(3): 552-560. https://doi.org/10.1590/1678-457X.6715.

36- Sayyari, M., & Alvandi, S. (2017). The effect of calcium ascorbate and heat treatment on increase the shelf life of button mushroom. *Journal of Crops Improvement 18*(4): 921-933 (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2017.56665.

37- Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture 16*(3). 144-158.

38- Singh, S.A.K., & Joshi, H.K. (2005). Prolong storability of Indian gooseberry (*Emblica officinalis* Gaertn.) under semi-arid ecosystem of Gujarat. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 75: 647-650.

39- Singh, J., Singh, M., Jain, A., Bhardwaj, S., Singh, A., Singh, D.K., Bhushan, B., & Dubey, S.K. (2014). An introduction of plant nutrients and foliar fertilization. *Precision Farming* 258-320. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1629.3844.

40- Tabatabaei, S.A.J. (2014). *Mineral nutrition of plants*. Tabriz University Press. Pp. 145-146. (In Persian)

41- Wang, Y., & Long, L.E. (2015). Physiological and biochemical changes relating to postharvest splitting of sweet cherries affected by calcium application in hydrocooling water. *Food Chemistery* 181: 241–247. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.100.